

全球雲解像モデル NICAM における微物理過程の開発と検証

富田 浩文 (htomita@jamstec.go.jp), NICAM 開発チーム*

(独) 海洋研究開発機構, 地球環境フロンティア研究センター

1 はじめに

地球環境フロンティア研究センターでは東京大学気候システムセンターとの協力のもと、全球雲解像モデル NICAM (Nonhydrostatic ICosahedral Atmospheric Model) の開発を行ってきており、第 1 バージョンが完成している [10]。NICAM を使ってのこれまでの主な成果を列挙すると、1) 水惑星実験 [11, 6]、2) 現実の海陸分布と地形を導入した短期予報実験 [5]、3) MJO 再現実験 [4]、4) 雲放射相互作用による気候感度実験 [12, 2]、である。これらの実験では、雲微物理過程として Grabowski(1998)[1] スキーム (以下、G98) を用いてきた。このスキームは、非常に簡便に氷晶過程を取り入れた 3 class のスキームで、上記の実験により、以下に挙げるいくつかの問題点が分かった。

1. 氷と水との変換における融解熱が考慮されていない。
2. Bergeron 効果を非常にラフに近似している。
3. 雨や雪の終端速度の計算に空気密度が考慮されていない。
4. 雲氷に比べて、雪が圧倒的に多く非現実的である。

以上の問題点を踏まえ、今後は Lin et al.(1983)[3] や Rutledge and Hobbs(1983)[8] のような、より精緻な微物理過程を導入する必要がある。但し、全球雲解像実験では多大な計算リソースを必要とするため、いたずらに微物理スキームを複雑化することは避けるべきである。そこで、Lin タイプのスキームに基づきつつ、より簡便化したスキームを構築する。

2 雲微物理スキーム

基本的には、Lin et al.(1983) 及び Rutledge and Hobbs(1983) の基づくが、主に以下の点を簡略化する。

1. 雲水、雲氷の生成消滅は、飽和調節にて行う。この時、 $-40^{\circ}\text{C} < T_c < 0^{\circ}\text{C}$ においては、Grabowski(1998) のように水と氷の生成物の割合は線形とする。また、飽和調節では Satoh(2003)[9] に基づき、格子内での潜熱

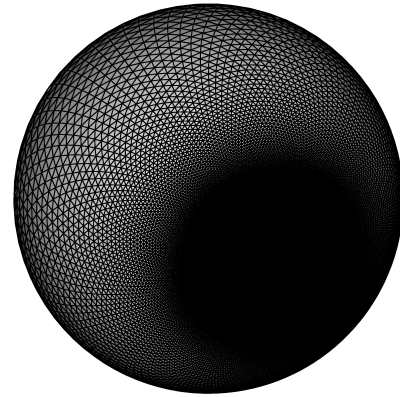


図 2: 可変 20 面体格子

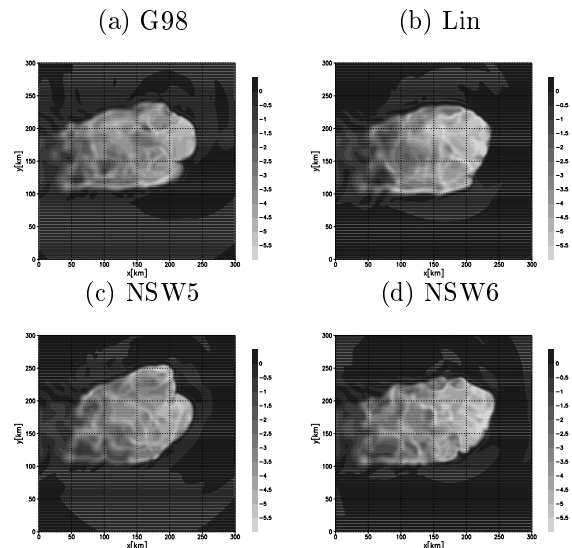


図 3: 7 時間後の $z = 35 \text{ m}$ での温度偏差

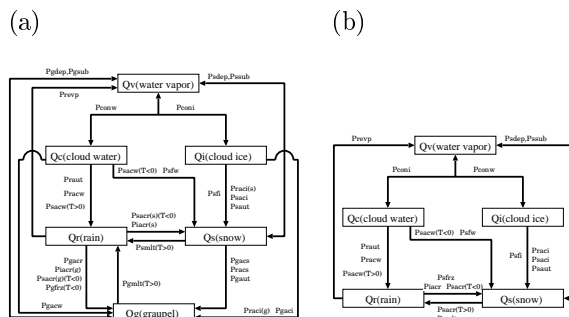


図 1: (a) NSW6 の変換ダイアグラム。 (b) NSW5 の変換ダイアグラム

を含めた湿潤エネルギーは、飽和調節前後で変化しないという制約を設ける。
2. あられの湿り効果は考慮せず、すべて乾いたあられとして扱う。

図.1(a) に各水物質間の変換ダイアグラムを示す。以下、本スキームを NSW6 (NICAM Single-moment Water 6) と呼称する。

また、あられとそれに関する変換項を廃止することで、5 class のスキームを簡単に構築できる。図.1(b) にその変換ダイアグラムを示す。これを NSW5 (NICAM Single-moment Water 5) と呼称する。

3 スコールライン実験によるテスト

よく知られているスコールラインのテストケース (GCSS WG4 Case1 [7]) によるスキーム検証を行った。

*NICAM 開発チーム: 佐藤正樹、那須野智江、伊賀晋一、三浦裕亮、野田暁、対馬洋子、大内和良、柳瀬亘、鈴木健太郎、三井達也、丹羽洋介、松田優也、井上豊志郎 (FRCGC/CCSR/CSU)

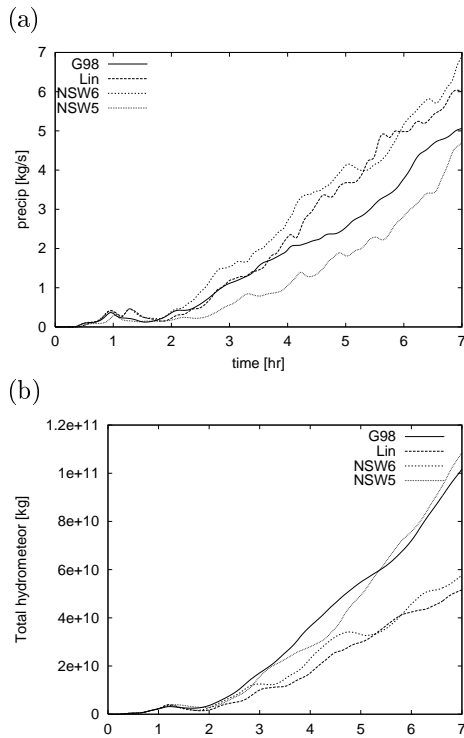


図 4: システム全体の (a) 降水強度, (b) 全凝結物の時間履歴

相互比較のため G98, Lin(WRF の Lin スキームから移植), NSW5, NSW6 の 4 つの微物理スキームを NICAM に搭載した。細かいメッシュを得るために、図 2 のような可変 20 面体格子を用いる。

図 3 に 7 時間後の最下層での温度偏差を示す。どのスキームにおいても発達したコールドプールが見られ、スコールラインがよく再現された。あられを含まないスキーム (G98, NSW5) にくらべて、あられを含むスキーム (Lin, NSW6) の方が若干強い温度偏差が見られた。

図 4(a) は、降水量の時間履歴であるが、あられを含むスキームの方が早く発達することが分かる。一方、全凝結物はあられを含まないスキームの方が多い (図 4(b))。あられを含むスキームでは、あられが雪に比べて落下速度が大きいので局所的に雨を降らす。対して、あられのない場合、雪として上層にたどり、風に流されることで比較的弱い雨を広い範囲で降らせる。

図 5 に 7 時間後の各凝結物の鉛直分布を示す。1 節で指摘したように G98 は雲氷に比べて圧倒的に雪が多く、それらのピークも同じ高度にあり、非現実的であると思われる。NSW5 ではそれらが若干改善されており、NSW6 と Lin を比べると、ほとんど同じ分布をしており、Lin スキームを簡略化したことによる大きな違いは見えない。図には示さないが、上層のアンピルの広がり方も両者はほぼ同様であった。図 6 に 7 時間後の領域平均した温度の初期場からのズレを示すが、G98 以外のスキームでは、融解熱の考慮により 5km 付近に明瞭な冷却層が存在していることが分かる。

表 1 は地球シミュレータ上での各スキームの計算効率を示している。いずれのスキームも地球シミュレータ上で十分に計算チューニングされている。これより、NSW6 は Lin より 40% 以上も計算効率が高い結果となっており、非常に有望であることが分かる。

4 まとめ

簡略化した Lin タイプの雲微物理スキームを構築し、スコールライン実験で良好な結果を得た。WRF で採用

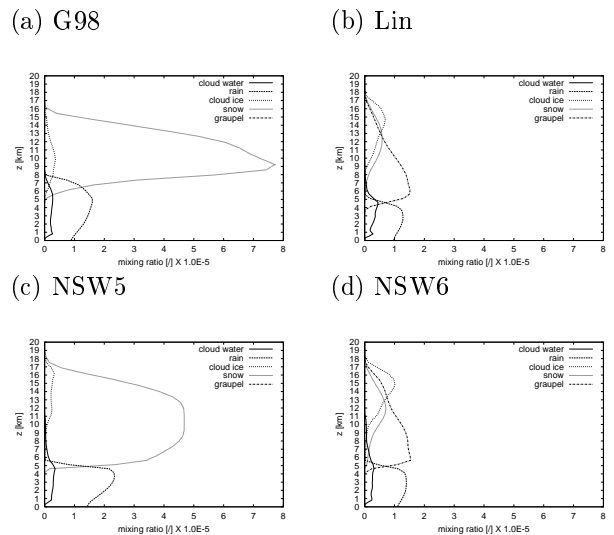


図 5: 7 時間後の各凝結物の平均鉛直分布

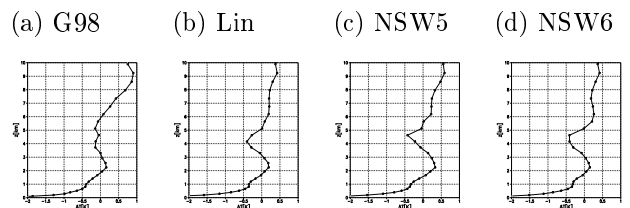


図 6: 領域平均した温度の初期場からのズレ (7 時間後)。

されている Lin タイプのスキームと比較しても簡略化による物理的なパフォーマンスの低下は認められず、また、計算負荷は 40% 程度削減できることから、NSW6 は十分に実用的であると思われる。今後は、放射対流平衡実験等の統計的な振舞の検証を行う予定である。

表 1: 地球シミュレータ上で 1step あたりにかかる時間

G98	Lin	NSW5	NSW6
68	173	72	103

単位: msec

参考文献

- [1] W. W. Grabowski. *J. Atmos. Sci.*, 55:3283–3298, 1998.
- [2] S. Iga et al. *Geophys. Res. Lett.*, submitted, 2007.
- [3] Y.-L. Lin, R.D. Farley, and H.D. Orville. *J. Appl. Meteor.*, 22:1065–1092, 1983.
- [4] H. Miura et al. *Science*, submitted, 2007.
- [5] H. Miura et al. *Geophys. Res. Lett.*, 34:L02804, doi:10.1029/2006GL027448, 2007.
- [6] T. Nasuno et al. *J. Atmos. Sci.*, 64:1902–1921, 2007.
- [7] J.-L. Redelsperger et al. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 126:823–863, 2000.
- [8] S. A. Rutledge and P. V. Hobbs. *J. Atmos. Sci.*, 40:1185–1206, 1983.
- [9] M. Satoh. *Mon. Wea. Rev.*, 131:1033–1050, 2003.
- [10] M. Satoh et al. *J. Comput. Phys., the special issue of Predicting Weather, Climate and Extreme Events, in press*:doi:10.1016/j.jcp.2007.02.006,, 2007.
- [11] H. Tomita et al. *Geophys. Res. Lett.*, 32:L08805, doi:10.1029/2005GL022459, 2005.
- [12] Y. Tsushima et al. *Nature*, submitted, 2007.